

УДК 622.73:621. 926. 678: 026

В.А. Настоящий, проф., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Обґрунтування раціональної форми гумових футерівок млинів самоподрібнення будівельних матеріалів

В роботі обґрунтована можливість підвищення технічного рівня млинів самоподрібнення шляхом удосконалення форми гумових футерівок та запропоноване конструктивне виконання удосконаленої гумової футерівки.

гумова футерівка, млин, будівельні матеріали

Розвиток будівництва на сучасному етапі неможливий без широкого застосування тонкодисперсних і порошкоподібних матеріалів, таких як цемент, глина, гіпс тощо.

На теперішній час млини самоподрібнення все ширше використовуються на різних підприємствах для помолу матеріалів.

Найбільш відповідальним і вартісним вузлом млина є барабан.

В млинах самоподрібнення при обертанні барабану млина подрібнюючі тіла (куски матеріалу, а іноді з додаванням сталевих куль) підіймаються на деяку висоту, а потім падають, скочуються або сповзають униз. Матеріал подрібнюється ударними навантаженнями падаючих тіл і від тертя між шарами матеріалу. Таким чином на внутрішню поверхню барабану млина діють інтенсивні ударні і стираючі навантаження. Для захистення барабану від зношування і руйнування використовують змінні футерувальні елементи: циліндричної і торцевої поверхонь [1,2,3,4].

Закордонний і вітчизняний досвіди експлуатації гумових футерівок у млинах діаметром до 4 м показали, що гума, як матеріал для футерівок млинів, є найбільш перспективним [2,3,4]. Тому необхідне вирішення проблеми створення конструкцій зносостійких гумових футерувальних елементів і визначення умов їх використання у млинах діаметром більше 4 м, до яких відносяться також млини самоподрібнення, та які останнім часом усе частіше впроваджуються на підприємствах.

У млинах самоподрібнення як правило використовують футерівку типу "високі ліфтери і плити" (рисунк 1) [1,2,3,4].

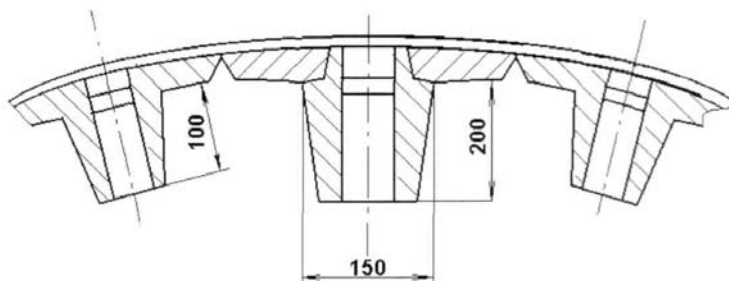


Рисунок 1 - Футерівка типу "високі ліфтери і плити"

При розробці гумових футерівок циліндричної поверхні барабанів головну задачу складає вибір форми і геометричних параметрів футерувальних елементів, які б були спроможні забезпечити високі показники процесу подрібнювання, задану довговічність і механічну міцність плит в умовах ударно-абразивного зношування і взаємозв'язку з подрібнюючими тілами.

У зв'язку з труднощами теоретичної оцінки різноманітних факторів, що впливають на рух подрібнюючого завантаження при проектуванні профілів робочих поверхонь футерівок за основу, як правило, приймають експериментальні дані і визначають умови, що задовольняють головним вимогам: максимальної зносостійкості і траєкторії руху подрібнюючих тіл, що забезпечують інтенсивний процес подрібнення матеріалу.

Прагнення виконати перераховані умови і привело до утворення великої кількості профілів футерівок барабанних млинів, більшість з яких побудовано на основі обробки експериментальних даних або шляхом модернізації раніше створених профілів. Проектуєма форма поверхні футерівки для млинів самоподрібнення повинна забезпечити вихід подрібнюючих тіл з канавок і зміну їх руху. Оскільки важко змінювати частоту обертання млина, лишається тільки вносити необхідні поправки у траєкторію руху подрібнюючих тіл за допомогою надання відповідної форми робочій поверхні футерівки.

Дослідження показують [3,4,6], що зношення футерівки інтенсивно зростає при наявності ковзання матеріалу по робочій поверхні. Отже, для підвищення довговічності футерівки її робоча поверхня (профіль) повинна знизити ковзання до мінімуму або задати переміщення матеріалу іншим, менш зношуючим способом, наприклад, коченням.

Дійсно, скочування матеріалу з робочих поверхонь плит і ліфтерів значно зменшує процес зношування футерівки. Це пояснюється тим, що тертя-ковзання матеріалу по робочій поверхні замінюється тертям-коченням, що має меншу інтенсивність стирання.

Отже, для забезпечення зносостійкості і довговічності футерівки необхідно спроектувати профіль робочої поверхні, який забезпечував би скочування матеріалу під час сходження останнього у точці відриву, і запобігав би ковзанню його під час підймання.

Визначення раціонального профілю футерівки безпосередньо базується на визначенні впливів завантаження на внутрішню частину барабану, яке складається [3,4,6].

Загальна сила F , яка діє на зерна матеріалу при їх підйомі (рис.2) і складається з сили ваги та відцентрової сили, що виникає при обертанні барабана, розкладається на нормальну силу H та тангенціальну силу T . Співвідношення зусиль H_i та T_i в кожній точці траєкторії підйому і визначає коефіцієнт зчеплення між подрібнюючим середовищем з матеріалом і футерівкою барабану млина [4,6]:

$$k_r = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n H_i} \quad (1)$$

Наведений коефіцієнт зчеплення відповідає ефекту зчеплення при гладкій футерівці. Для того, щоб ковзання сегменту завантаження відносно барабану було відсутнє, необхідно, щоб коефіцієнт зчеплення не перевищував 0,2 [6]. Цього можна досягнути зміною розкладання сил F_i на нормальні і тангенціальні складові (збільшенням H_i , як наслідок, сил зчеплення), шляхом зміни орієнтації площини, що сприймає зусилля. Так на рисунку 2 зображена необхідна зміна складових сил F_i , за рахунок повороту на кут α_F площини футерівки.

Згідно результатам розрахунку виконаним для характеристик і умов роботи млина ММС 70х23 необхідний кут підйому профіля футерівки α_F складає $12,54^\circ$.

Після визначення раціонального кута футерівки виконувалась побудова лінії самого профілю графічним способом. По графічному методу лінія будується приблизно

по точках. Причому геометрична властивість лінії виходить з фізичної суті вибору кута α_Φ , а саме: у кожній точці кут між лінією і перпендикуляром до радіусу, проведеному у цю точку, є величиною сталою, рівною α_Φ . По цій властивості можна заключити, що шукана лінія є логарифмічною спіраллю з рівнянням (2).

$$\rho = R_1 \cdot \exp(-\varphi \operatorname{tg} \alpha_\Phi). \quad (2)$$

Розглянемо випадок, коли кусок матеріалу досягає точки відриву. Відцентрова сила і проекція сили тяжіння, що діють на кусок матеріалу, взаємозрівноважуються, даючи змогу куску відірватися від футерівки і перейти на параболічну траєкторію руху. Для більшості випадків традиційних конструкцій футерівок цей процес супроводжується ковзанням куска матеріалу по поверхні футерувальних плит і ліфтерів.

Для того, щоб кусок матеріалу не ковзав, а перекачувався по поверхні, повинна бути присутня сила, яка б створювала скочуючий момент.

Як вже зазначалось раніше, дрібні зерна у основній масі завантаженого матеріалу мають ізометричну форму з невеликими радіусами округлення, в той час, як крупні зерна мають саму різноманітну форму - кубічну, пластичну, голчасту і т.д. [1,2].

Тому для розглядання приймемо частку матеріалу кубічної форми.

Кубик матеріалу знаходиться на площині, що розташована під кутом λ до горизонту (рисунок 3). Буквою G позначена рівнодіюча сил, які діють на матеріал.

Положення 1. Тіло буде мати стійке положення при куті $\lambda < 45^\circ$. Як тільки сила змінить свій напрямок G_i у бік зростання кута, виникає момент, що прагне перевернути куб навколо точки A . Відбувається перекошування тіла у положення, при якому настає зменшення моменту.

Положення 2. При подальшій зміні напрямку сили відбуваються аналогічні рухи кубика, що у цілому призводять до перекашування останнього по поверхні. Геометричне місце прямих, що проведені у всіх положеннях кубика являє собою деяку криву лінію. Звідси можна зробити висновок, що для забезпечення кочення кубічного тіла по поверхні, останній необхідно надати відповідний криволінійний профіль.

Можна припустити, що аналогічні події відбуваються і у млині, під час сходження матеріалу у точці відриву, а звідси слід надати поверхні ліфтера криволінійний профіль, який дозволить матеріалу скатуватися по поверхні.

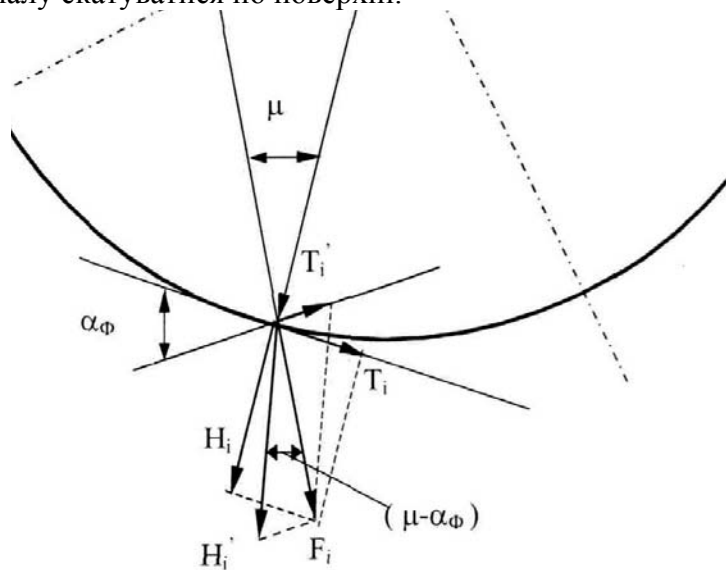


Рисунок 2 – Зміна складових сили, що діють на внутрішню поверхню барабану

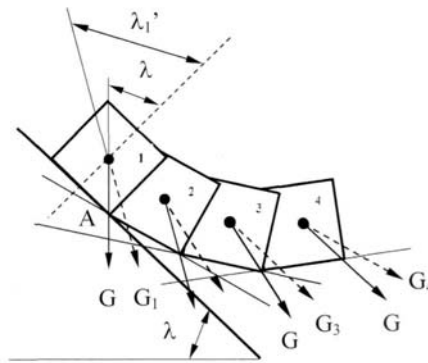
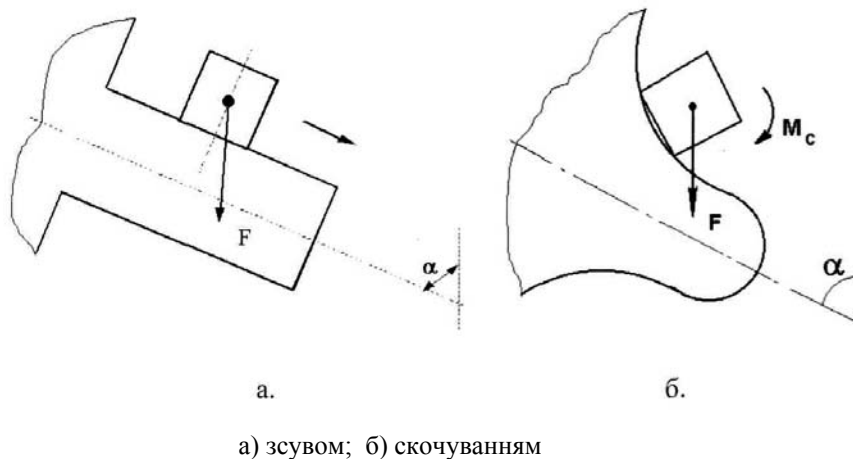


Рисунок 3 – Перекочування кубічного тіла під дією сил



а) зсувом; б) скочуванням

Рисунок 4 – Переміщення матеріалу по футерівці при переході на параболічну траєкторію

Для порівняння на рисунку 4 показана поведінка кубічного тіла на традиційних футерівках з прямокутними ліфтерами, і на футерівці з запропонованим криволінійним профілем, при дії на зерно матеріалу однакових сил, як по величині так і по напрямку, де F – результуюча сила, що діє на тіло

В результаті виконаних досліджень пропонуємо наступну конструкцію футерівки млина самоподрібнення (рисунок 5). Дана конструкція футерівки являє собою футерівку типу "плита-ліфтер", яка виконана з зносостійкої гуми марки 2529, і має криволінійний профіль робочої поверхні. Висота ліфтерів складає 260 мм, що аналогічна висоті сталевих, товщина ліфтерів призначена згідно рекомендацій [3,4,6] рівною 140 мм, товщина футерувальних плит згідно виконаних розрахунків рівна 160 мм. Виступаюча частина ліфтера має криволінійний профіль радіуса, рівному половині товщини ліфтера у цьому місці, тобто 70 мм. У якості криволінійного профілю поверхні плити і бокових поверхонь ліфтера прийнята крива, що була побудована раніше. Кріпиться гумова футерівка до поверхні барабану за допомогою кріпильних болтів, що з'єднані одним кінцем з притисною металевою планкою. Ця планка вставляється у Т-подібний паз, що виконаний у середині гумового ліфтера, і при затягуванні футерувальних гайок, нижня частина ліфтера надійно притискає бокові виступи футерувальних плит до поверхні барабану.

При розташуванні футерівки на барабані, кількість ліфтерів у відповідності з рекомендаціями приймаємо у 6 разів більше, ніж діаметр млина у метрах [3,4], що для млина ММС-70-23 відповідає 42 ліфтерам. Тоді шаг між віссю ліфтерів складе 523 мм. Тоді для покриття усієї поверхні барабану млина самоподрібнення, при розташуванні по три футерувальні плити по довжині барабану, необхідно 126 плит і стільки ж ліфтерів.

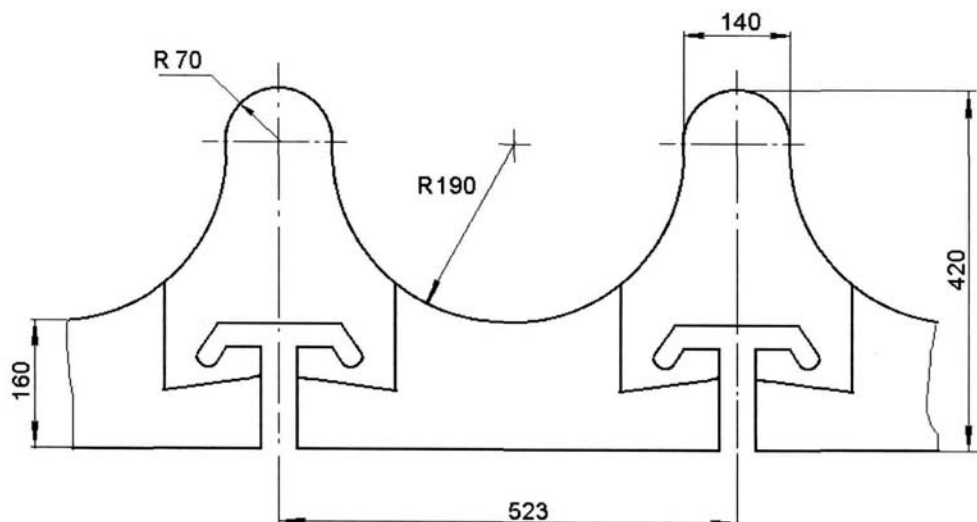


Рисунок 5 – Розроблена конструкція гумової футерівки млина самоподрібнення

Виконання робочої поверхні футерівки з криволінійним профілем дозволяє: підвищити надійність кріпильного пазу, за допомогою збільшення товщини матеріалу і зменшення концентрацій напруги, підвищити зносостійкість і довговічність футерівки, зменшити сегрегацію матеріалу по поперечному перерізу барабану, і як наслідок підвищити якість помолу.

Список літератури

1. Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1980. – 415 с.
2. Подрібнювання. Енергетика і технологія / Г.Г. Півняк, Л.А. Вайсберг, В.І. Кириченко, П.І. Пілов, В.В. Кириченко – Дніпропетровськ; НГУ, 2006. – 314 с.
3. Рабочие поверхности и футеровки барабанных и вибрационных мельниц / В.П. Франчук, В.А. Настоящий, А.Е. Маркелов, Е.Ф. Чижик—Кременьчук-Комсомольск; Елвіта, 2008 – 382 с.
4. Защитные футеровки и покрытия горно-обогатительного оборудования А. А. Тарасенко, Е. Ф. Чижик, А. А. Взоров. В. А. Настоящий. – М.: Недра, 1985. – 204 с.
5. Михельсон Н.Г., Шильман А.А. Футеровка мельниц самоизмельчения МБ-70-23, ММС-70-23. / Горный журнал, 1977, № 8, С. 53.
6. Крюков Д. К. Усовершенствование рудоразмольного оборудования горно-обогатительных предприятий. – М.: Недра, 1966. – 174 с.

Одержано 16.08.10